

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ته نشینی ذرات درشت و کوچک
در قانون استوک

دکتر احمد نیک پی
عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی قزوین
گروه بهداشت حرفه ای
تاریخ انتشار پاییز ۱۳۹۲
nikpey@gmail.com

منبع

• مهندسی کنترل آلودگی هوا، نوئل دنورز، فصل هشتم

- **Hinds, W. C. (1999) Aerosol Technology: Properties, Behavior, and measurement of air born particles. John Willey & Sons Inc.chap3**
- **Friedlander S. K. (2000) Smoke, dust, and haze: fundamentals of aerosol dynamics. Oxford University Press.**
- http://aerosol.ees.ufl.edu/aerosol_trans/section07.html

اهداف آموزشی

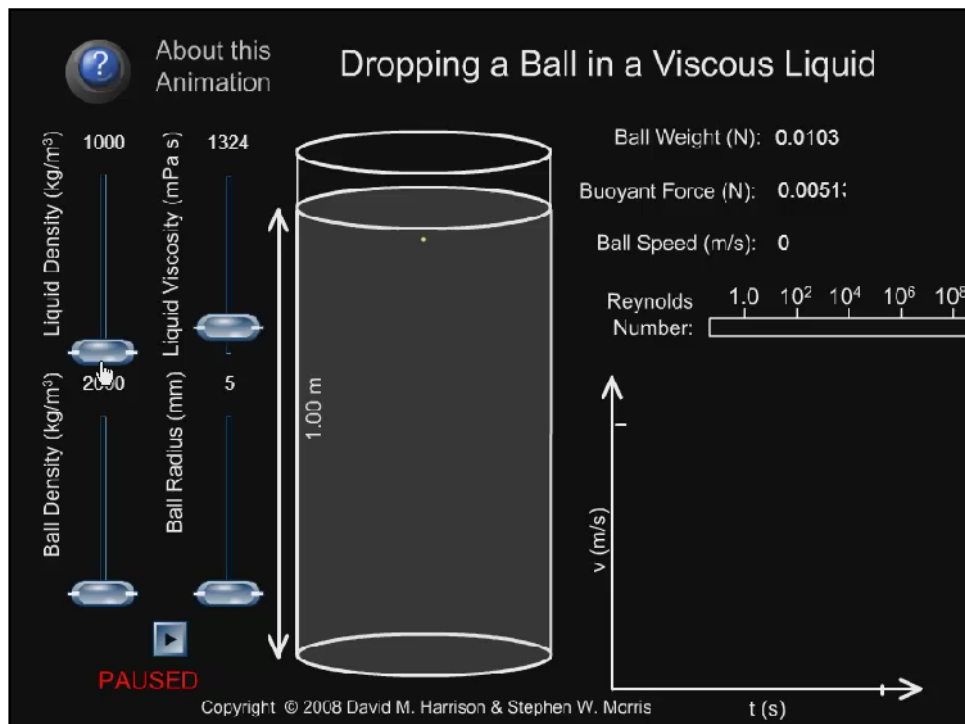
- آشنایی با محدودیت های سرعت ته نشینی استوک
- تعیین سرعت ته نشینی ذرات کوچک در قانون استوک
- تعیین سرعت ته نشینی ذرات بزرگ در قانون استوک
- آشنایی با ضریب تصحیح کانینگهام
- آشنایی با فاکتور شکل دینامیک

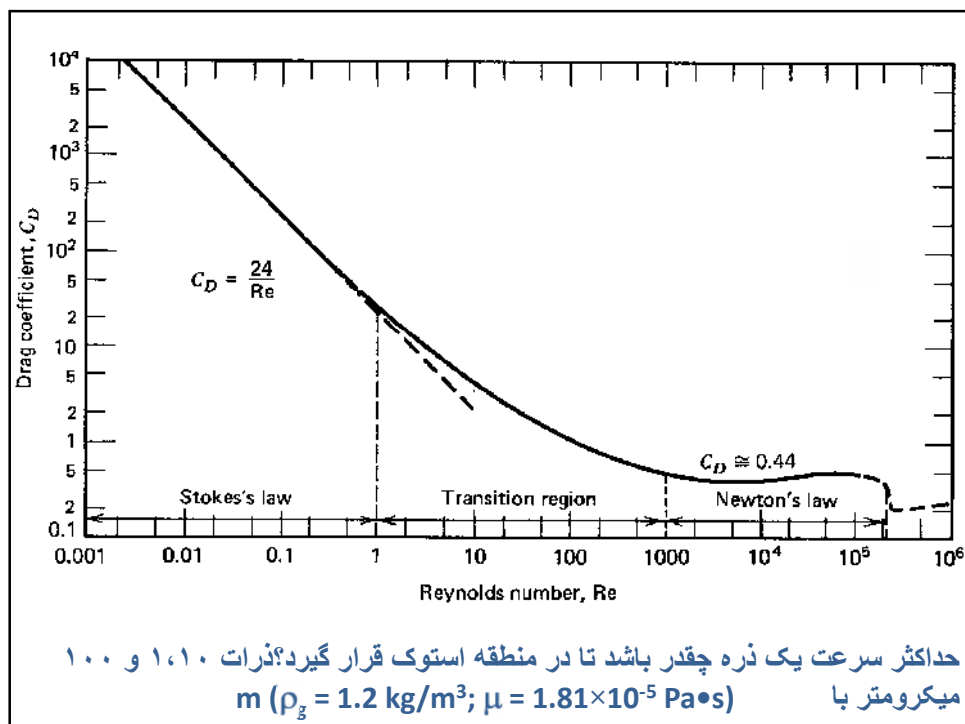
ته نشینی ریزگردها بر اثر نیروی جاذبه

- قانون استوک قادر به پیش بینی سرعت ته نشینی ذرات در اعداد رینولدز کمتر از یک می باشد.

$$V = \frac{(\rho_p - \rho_g)d^2 g}{18\eta}$$

$$10 \leq d \leq 1\mu\text{m} \text{ و } Re < 1$$





فرضیات قانون استوک

- ذرات بزرگ:
- سرعت سیال در سطح ذره صفر و مربع سرعت سیال در سطح ذره ناچیز باشد.
- نیروی اینرسی اعمال شده از طرف ذره بر سیال ناچیز و قابل صرف نظر باشد.
- ذرات کوچک:
- سیال تراکم ناپذیر و پیوسته است.
- ذره یا دیواره دیگری در مجاورت ذره مورد مطالعه وجود ندارد که بر الگوی جریان اطراف ذره تاثیرگذار باشد.
- سرعت ته نشینی ذره در ابعاد کمتر از یک میکرومتر و یا بزرگ تر از ۱۰ میکرومتر انحرافات از مقدار پیش بینی شده در قانون استوک دارد.

سرعت ته نشینی ذرات بزرگ تر از ۱۰ میکرون در قانون استوک

- عدد رینولدز بیشتر از یک بوده و ذرات با سرعت بیشتری ته نشین می شوند.

سرعت ته نشینی و عدد رینولدز ذره ای با قطر ۲۰۰ میکرومتر را محاسبه کنید؟

سرعت ته نشینی متناسب با مربع قطر ذره است

$$V = \left(\frac{0.00605 \text{ cm}}{s} \right) \left(\frac{200 \mu}{1 \mu} \right)^2 = 2.42 \text{ m/s} = 7.94 \text{ ft/s}$$

$$Rp = \frac{DV\rho_{\text{مو}}}{\mu} = \frac{(200 \times 10^{-6} \text{ m})(2.42 \text{ m/s})(1.2 \text{ kg/m}^3)}{(1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s})} = 32.3$$



ذرات کوچک (۰,۱ تا ۱ میکرون) در قانون استوک

Particle $d_p > 1.0 \mu m$

با در نظر گرفتن فاکتور تصحیح لغزش یا فاکتور تصحیح کانینگهام CC

$$F_D = \frac{3\pi\eta V d}{C_c}$$

$$C_c = 1 + \frac{2.52\lambda}{d}$$

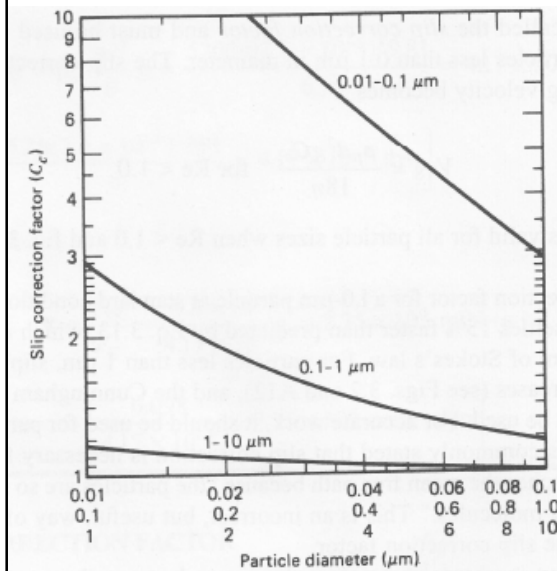
$d_p \geq 0.1 \mu m$

Particle $d_p < 1.0 \mu m$

λ : مسیر متوسط آزاد برای هر هوا ۰,۰۶۶ میکرومتر

فاکتور لغزش برای ذرات با سایز یک میکرومتر ۱,۱۵ است به این معنی که سرعت ته نشینی ذره ۱۵ % سریع تر از مقدار پیش بینی شده توسط قانون استوک است.

فاکتور تصحیح لغزش



- فاکتور تصحیح لغزش با افزایش سایز ذره کاهش می یابد.

فاکتور تصحیح لغزش

فاکتور لغزش C_c	λ متوسط فاصله آزاد ملکول ها (میکرومتر)	قطر ذره (میکرومتر)
۲۵/۷۷	۰/۰۶	۰/۰۱
۳/۰۹	۰/۰۶	۰/۱
۱/۱۵	۰/۰۶	۱
۱/۰۱۵	۰/۰۶	۱۰
۱/۰۰۲	۰/۰۶	۱۰۰

برای ذرات با قطر کمتر از ۰,۱ میکرومتر

$$C_c = 1 + \frac{\lambda}{d} \left[2.34 + 1.05 \exp \left(-0.39 * \frac{d}{\lambda} \right) \right]$$

$$Re < 1, d_p < 0.1 \mu m$$

- سرعت ته نشینی در اعداد رینولدز کمتر از ۱

$$V = \frac{(\rho_p) d^2 g C_c}{18 \eta}$$

$$V = V_{Stock} \left(1 + A \frac{\lambda}{d} \right)$$

سرعت ته نشینی ذره ای با قطر ۰/۱ میکرومتر را محاسبه کنید؟

- سرعت ته نشینی ذره یک میکرومتری: $6.05 \times 10^{-7} m/s$

- سرعت ته نشینی ذره بر اساس قانون استوک

$$V_{\text{استوک ذره}} = 6.05 \times 10^{-5} m/s \times \frac{0.1^2 \mu m}{1^2 \mu m} = 6.05 \times 10^{-7} m/s$$

- سرعت ته نشینی ذره بر اساس قانون استوک اصلاح شده

$$1 + A \frac{\lambda}{d} = 1 + 1.728 \frac{0.07 \mu}{0.1 \mu} = 2.21$$

V استوک تصحیح شده

$$\begin{aligned} &= 6.05 \times 10^{-7} m/s \times 2.21 \\ &= 1.34 \times 10^{-6} m/s \end{aligned}$$

توسط فاکتور تصحیح کانینگهام ساده و پیشرفته
محدوده کاربردی قانون استوک به ترتیب به ذرات
۰/۱ و کمتر از ۰/۱ میکرومتر می رسد

$$C_c = 1 + \frac{2.52\lambda}{d}$$

$$C_c = 1 + \frac{\lambda}{d} \left[2.34 + 1.05 \exp \left(-0.39 * \frac{d}{\lambda} \right) \right]$$

آئروسل های غیر کروی

χ نسبت نیروی مقاوم حقیقی یک ذره غیر کروی
به نیروی مقاوم یک ذره کروی که از حجم و
سرعتی مشابه ذره غیر کروی برخوردار باشد.

$$V_{TS} = \frac{\rho_p d_e^2 g}{18\eta\chi}$$

$$\chi = \frac{F_D}{3\pi\eta V d_e}$$

d_e : قطر حجم مایع

- قطرات مایع با قطر کمتر از ۱ میلی متر و برخی از ذرات جامد کروی هستند، سایر ذرات غیر کروی هستند.
- برخی دارای شکل های هندسی منظمی نظیر مکعب (ذرات نمک دریا)، استوانه ای (باکتری ها و الیاف) برخوردار هستند.
- ذرات بهم چسبیده و حاصل از فرایندهای مکانیکی شکل نامنظم دارند.
- فاکتور شکل دینامیکی (α) برای اصلاح شکل ذره بر حرکت آن در قانون استوک وارد شده است.

فاکتور شکل دینامیک χ				
نسبت محوری (طول به عرض)				
۱۰	۵	۲		شکل ذره
			۱	کره
			۱/۰۸	مکعب
۱/۲	۱/۰۶	۱,۰۱		استوانه
۱/۵۸	۱/۳۴	۱/۱۴		توسعه در محور عمودی
۴۱/۴۳	۱/۲۳	۱/۰۹		توسعه در محور افقی
۱/۶۸	۱/۳۵	۱/۱		توسعه در تمام جهات
				زنجیره خطی
				خوشه متراکم
			۱/۱۵	سه ذره کروی به هم چسبیده
			۱/۱۷	چهار ذره کروی به هم چسبیده
			۱/۵-۱/۱۱	گرو غبار زغال سنگ
			۱/۳۶	گرد و غبار کوارتز
			۱/۵۷	گرد و غبار ماسه
			۱/۸۸	گرد و غبار تالک

متشکرم